

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**ADUBAÇÃO SULFATADA NO CRAMBE (*Crambe abssynica*
Hoechst) E SEUS EFEITOS NO CRESCIMENTO, NO
ENXOFRE ABSORVIDO E RECUPERADO POR
EXTRATORES QUÍMICOS**

LENITA APARECIDA CONUS

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2010**

**ADUBAÇÃO SULFATADA NO CRAMBE (*Crambe abssynica* Hoechst)
E SEUS EFEITOS NO CRESCIMENTO, NO ENXOFRE ABSORVIDO
E RECUPERADO POR EXTRATORES QUÍMICOS**

LENITA APARECIDA CONUS
Engenheira Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. ANTONIO CARLOS TADEU VITORINO

Co-orientador: Prof. Dr. JOSÉ OSCAR NOVELINO

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2010

SUMÁRIO

	PÁGINA
RESUMO.....	iv
INTRODUÇÃO GERAL.....	5
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	7
CAPÍTULO I – CRESCIMENTO, ABSORÇÃO E USO DE ENXOFRE POR PLANTAS DE CRAMBE EM DOIS LATOSSOLOS VERMELHO.....	8
RESUMO.....	8
1.1 INTRODUÇÃO.....	9
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
1.4 CONCLUSÕES.....	24
1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25
CAPÍTULO II – ENXOFRE RECUPERADO POR EXTRATORES QUÍMICOS EM DOIS LATOSSOLOS VERMELHO CULTIVADOS COM CRAMBE.....	28
RESUMO.....	28
2.1 INTRODUÇÃO.....	29
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
2.4 CONCLUSÕES.....	42
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
APÊNDICES.....	46

**ADUBAÇÃO SULFATADA NO CRAMBE (*Crambe abyssinica* Hoehst) E SEUS
EFEITOS NO CRESCIMENTO, NO ENXOFRE ABSORVIDO E
RECUPERADO POR EXTRATORES QUÍMICOS**

RESUMO: O trabalho teve por objetivo avaliar a utilização de enxofre pela cultura do crambe submetida à adubação sulfatada e as relações com a sua disponibilidade em Latossolo Vermelho Distroférico e Latossolo Vermelho Distrófico. Os experimentos foram realizados em casa de vegetação e no Laboratório de Fertilidade do Solo, da Universidade Federal da Grande Dourados, em Dourados/MS, no período de março a outubro de 2009. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 6, com 4 repetições, cujos fatores foram duas classes de solos (Latossolo Vermelho Distrófico, textura média, e Latossolo Vermelho Distroférico, muito argiloso), e seis doses de enxofre (0; 15; 30; 60; 90 e 120 mg dm⁻³ de S). Para estudar o aproveitamento de S pelo crambe, no florescimento pleno, foram avaliados a altura de plantas, a matéria seca da parte aérea e de raízes, o teor de S na parte aérea e nas raízes, os acúmulos de S na parte aérea e nas raízes, e calculados os índices de eficiências de utilização, de absorção e de translocação de S. A avaliação da recuperação de S nos solos, foi determinada pelos extratores químicos Ca(H₂PO₄)₂ 500 mg L⁻¹ de P em HOAc 2 mol L⁻¹, Ca(H₂PO₄)₂ 500 mg L⁻¹ de P em H₂O e CaCl₂ 10 mmol L⁻¹. A cultura do crambe em solos com baixa disponibilidade de S apresentou sintomas visuais de deficiência, evidenciando assim, a necessidade da utilização de doses adequadas ao desenvolvimento da cultura. Nas condições em que a pesquisa foi realizada, verificou-se que a aplicação de até 40 mg dm⁻³ de S, favoreceu o crescimento e a produção de matéria seca da cultura. Para avaliação da disponibilidade de S, recomenda-se a utilização do extrator Ca(H₂PO₄)₂ em H₂O, por apresentar adequado desempenho operacional em laboratório e por recuperar teores de S do solo que se correlacionam com as quantidades de S absorvidas pelas plantas.

Palavras-chave: cultura bioenergética; índices de eficiência; extração de enxofre; solos intemperizados

INTRODUÇÃO GERAL

A grande disponibilidade de petróleo no início do século XX, aliado ao baixo custo para o refino do óleo e o alto valor energético, colaboraram para torná-lo a matéria-prima mais utilizada como combustível nos setores de transporte, agricultura e indústria. Entretanto, sua participação em aproximadamente 40% da matriz energética brasileira, vem gerando grandes problemas ambientais, seja pela emissão de gases de efeito estufa durante a combustão, ou pelo descarte de resíduos e derramamentos que eventualmente ocorrem no mar e no solo (SILVA e FREITAS, 2008).

A produção agrícola visando à obtenção de biocombustíveis enquadra-se como uma alternativa para a redução do efeito estufa, pois, se por um lado há liberação de CO₂ durante a combustão destas fontes, por outro, este gás é retirado da atmosfera durante o desenvolvimento das culturas (RAMOS et al., 2003). Assim, a implantação do Programa de Biodiesel no Brasil, que determina a adição de 5% de óleo vegetal ao diesel até 2013, tem servido de incentivo para a produção de diversas espécies potenciais na produção de biocombustível, especialmente algumas oleaginosas (PLÁ, 2006).

Dentre as fontes de óleos vegetais, a soja destaca-se por sua cadeia produtiva altamente organizada e por ocupar maiores áreas de cultivo ano após ano. Além desta, nas regiões Central e Sul do país, destacam-se as oleaginosas anuais como o girassol, a mamona, a canola e o algodão. No entanto, a maior parte destas oleaginosas tem sido cultivada prioritariamente para obtenção de produtos derivados, ou ainda óleos nobres, para alimentação humana (SILVA e FREITAS, 2008).

Recentemente, a cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hoechst) surgiu com elevado potencial para a produção de óleo (26 a 38%), com características ideais para o biodiesel, porém, não podendo ser utilizado na alimentação humana por possuir alto teor de ácido erúico. Pode ser uma alternativa para o cultivo no outono-inverno, apresentando ciclo curto, tolerância a seca e geadas, exigência de solos com média a alta fertilidade (PITOL, 2007) e adequadas quantidades de enxofre (S), pois por pertencer à família *Brassicaceae*, enquadra-se no grupo de plantas que necessitam de quantidades superiores a 10 mg dm⁻³ de S (MALAVOLTA e MORAES, 2007).

Uma das formas de aumentar a produtividade das culturas é por meio da utilização de fertilizantes, sendo esta prática, apenas um dos componentes dos sistemas de produção agrícola e, portanto, não deve ser considerada como uma prática isolada. No entanto, o investimento na adubação é um dos fatores mais determinantes nos custos de produção

agrícola e, por isso, deve proporcionar maiores rendimentos ao produtor. Assim, manejar adequadamente a adubação implica em conhecer as plantas, a funcionalidade do sistema solo, e entender as relações solo-planta (CERETTA et al., 2007).

O manejo da disponibilidade de S em solos agrícolas é complexo pelos diferentes equilíbrios e processos que o envolvem no solo e na atmosfera. Apesar de ser um nutriente essencial para o desenvolvimento das plantas, grandes áreas do planeta apresentam solos com deficiência desse elemento, especialmente os mais intemperizados, como os Latossolos, e alguns Argissolos (ALVAREZ V. et al., 2007). Entretanto, sua deficiência no cultivo das plantas somente manifestou-se, com a modernização da indústria de fertilizantes, desenvolvendo formulações mais concentradas, sem S em sua composição, e com o aumento de produtividades, proporcionando maior exportação das culturas, reduzindo assim, as reservas de S do solo (FERNANDES, 2007).

O ânion sulfato (SO_4^{-2}) é a forma mineral predominante de S encontrada no solo e também a principal forma absorvida pelas plantas. A quantidade de SO_4^{-2} disponível às plantas está relacionada ao equilíbrio entre esse ânion na solução do solo e o adsorvido aos minerais da fração argila (CASAGRANDE et al., 2003). Assim, em solos com baixo conteúdo de colóides inorgânicos, a alta disponibilidade de SO_4^{-2} pode significar maiores perdas deste ânion por percolação, ficando inacessível às raízes das plantas, podendo agravar os sintomas de deficiência de S (ALVAREZ V. et al., 2007).

Escassos são os trabalhos realizados com solos brasileiros voltados para uma melhor compreensão da dinâmica de S no solo, tanto no que se refere a suas interações com os componentes mineralógicos, como suas relações com o aproveitamento pelas plantas. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a utilização de S pela cultura do crambe submetida à adubação sulfatada e as relações com a sua disponibilidade em Latossolo Vermelho Distroférrico e Latossolo Vermelho Distrófico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V., V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. F. Enxofre. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L (Eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, p.595-635, 2007.
- CASAGRANDE, J. C.; ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A.; BORGES, M. Adsorção de fosfato e sulfato em solos com cargas elétricas variáveis. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.1, p.51-59, 2003.
- CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; PAVINATO, A. Manejo da adubação. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L (Eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, p.851-872, 2007.
- FERNANDES, M. B. **Avaliação e disponibilidade de enxofre em solos cultivados com cana-de-açúcar em Pernambuco**. 2007. 61p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. Fundamentos do nitrogênio e enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Eds.). **Simpósio sobre nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. p.188-249.
- PITOL, C. Cultura do Crambe. In: FUNDAÇÃO MS. **Tecnologia e produção: milho safrinha e culturas de inverno 2008**. Maracaju: FUNDAÇÃO MS/ COOAGRI, p.85-88, 2007.
- PLÁ, J. V. J. A. Aspectos agronômicos da produção de biodiesel no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 3, Varginha, 2006. **Artigos...** Varginha: UFLA, 2006. p.1-17.
- RAMOS, L. P.; DOMINGOS, A. K.; KUCEK, K. T.; WILHELM, H. M. Biodiesel: um projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, Brasília, v.31, n.1, p.28-37, 2003.
- SILVA, P. R. F.; FREITAS, T. F. S. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.3, p.843-851, 2008.

CAPÍTULO I

CRESCIMENTO, ABSORÇÃO E USO DE ENXOFRE POR PLANTAS DE CRAMBE EM DOIS LATOSSOLOS VERMELHO

RESUMO: Objetivou-se avaliar a absorção de enxofre (S) e o crescimento da cultura do crambe submetida à adubação sulfatada em Latossolo Vermelho Distroférrico e Latossolo Vermelho Distrófico. O experimento foi realizado em casa de vegetação, da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), em Dourados/MS, no período de março a outubro de 2009. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições, em esquema fatorial 2 x 6, cujos fatores foram duas classes de solos (Latossolo Vermelho Distrófico, textura média e Latossolo Vermelho Distroférrico, muito argiloso) e seis doses de enxofre (0; 15; 30; 60; 90 e 120 mg dm⁻³ de S). Foram utilizadas sementes de crambe cultivar FMS Brilhante. No florescimento pleno foram avaliados a altura de plantas, a matéria seca da parte aérea e das raízes, o teor de S na parte aérea e nas raízes. Foram calculados os acúmulos de S na parte aérea e nas raízes, e os índices de eficiências de utilização, de absorção e de translocação de S. A cultura do crambe respondeu em produção de matéria seca e em altura de planta à aplicação de até 40 mg dm⁻³ de S. O incremento na adubação sulfatada favoreceu o acúmulo e a absorção de S pelo crambe, porém reduziu a eficiência de utilização deste nutriente. No que se refere à influência das classes de solos, as plantas de crambe diferiram quanto à quantidade absorvida e ao aproveitamento de S.

Palavras-chave: *Crambe abssynica*; adubação sulfatada; solos intemperizados

1.1 INTRODUÇÃO

A atual matriz energética mundial é composta, em grande parte, de fontes não renováveis de carbono fóssil, como o petróleo, o carvão e o gás natural, que apresentam, ainda nesse século, a possibilidade de escassez ou esgotamento. Além disso, é crescente a poluição decorrente da emissão de gases originados pela queima desses combustíveis, agravando o efeito estufa e conseqüentemente, causando desastres ambientais (PERES et al., 2005). Assim, a produção de combustíveis à partir da agricultura, além de melhorar as condições ambientais, constitui uma estratégia para amenizar a crise de abastecimento, abrindo espaço para a continuidade do desenvolvimento econômico, sendo também uma oportunidade para promover mudanças no agronegócio brasileiro.

Neste cenário, o cultivo de oleaginosas voltadas à produção de biocombustível, tem despertado interesse dos produtores de grãos, onde o crambe (*Crambe abyssinica* Hoechst), planta da família *Brassicaceae*, surge com elevado potencial para a produção de matéria-prima para biodiesel. Essa espécie apresenta como principais vantagens a tolerância à seca, à geadas, a sua precocidade, o cultivo mecanizado e por ser uma alternativa para a safrinha (PITOL, 2007). É uma cultura que exige solos de média a alta fertilidade, enquadrando-se no grupo de plantas cultivadas que necessitam de quantidades superiores à 10 mg dm^{-3} de enxofre (S) para o seu crescimento e desenvolvimento (MALAVOLTA e MORAES, 2007).

O S desempenha importantes funções no metabolismo e, por conseguinte, no ciclo vital das plantas. Moléculas contendo S participam da estrutura de aminoácidos essenciais, da clorofila, de enzimas e coenzimas, além de participar de diversos processos metabólicos como ativação enzimática. Assim, plantas deficientes em S interrompem a síntese protéica, podendo retardar o crescimento e reduzir a produção de matéria seca, comprometendo também, a qualidade do produto (SCHERER, 2001).

A disponibilidade desse elemento para as culturas depende de suas transformações a formas inorgânicas, preferencialmente à forma de sulfato (SO_4^{-2}). A quantidade de SO_4^{-2} disponível às plantas está relacionada ao equilíbrio entre esse ânion na solução do solo e o adsorvido aos minerais da fração argila (CASAGRANDE et al., 2003). Grande parte dos solos de Mato Grosso do Sul, assim como de outras regiões tropicais, são naturalmente deficientes em S (BROCH e RANNO, 2007), fato que aliado ao aumento do uso de fertilizantes que contêm pouco ou nenhum S na sua composição, ao aumento da produtividade, a redução dos teores de matéria orgânica do solo e, ainda, a redução do uso

do S como pesticida (TISDALE et al., 1995), tem tornado cada vez mais freqüente a necessidade de adubação sulfatada nas culturas.

Estudos com fertilização sulfatada têm demonstrado respostas positivas à aplicação em várias espécies, porém experimentos com culturas bioenergéticas são escassos e apresentam resultados contraditórios. Malavolta (1984) trabalhando com doses e fontes de S em diversas culturas na região do Cerrado brasileiro, encontrou resposta para a colza (*Brassica napus* L.) com aplicações de 60 kg ha⁻¹. No entanto, Alvarez (2004) em experimento sob Argissolo Vermelho Distrófico arênico, não obteve resposta para a canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*), enquanto que para o nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), a fertilização com S atingiu a máxima produção de massa seca com a aplicação de 46,4 kg ha⁻¹ de S.

Desta forma, objetivou-se avaliar a absorção de enxofre e o crescimento da cultura do crambe submetida à adubação sulfatada em Latossolo Vermelho Distroférrico e Latossolo Vermelho Distrófico.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, na Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, localizada no município de Dourados/MS, no período de março a outubro de 2009. O local situa-se em latitude 22°14'55''S, longitude 54°56'7''W e altitude de 434 m. O clima da região enquadra-se no tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 4 repetições, em esquema fatorial 2 x 6, cujos fatores foram duas classes de solos (Latosolo Vermelho Distrófico (LVd), textura média e Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf), muito argiloso) e seis doses de enxofre (0; 15; 30; 60; 90 e 120 mg dm⁻³ de S), aplicado na forma de gesso agrícola (CaSO₄ 2H₂O) com 16% de S, determinado conforme Embrapa (2009). As doses foram estabelecidas em função do P remanescente, de acordo com recomendação de Alvarez V. et al. (2000), porém adotaram-se as mesmas doses de S para ambos os solos.

As amostras dos solos foram retiradas na profundidade de 0 a 30 cm, sendo o LVdf coletado no Aeroporto Municipal de Dourados em uma área sob pousio, com vegetação predominante por braquiária, e o LVd coletado em uma área de Cerrado no km 38 da rodovia Dourados-Itahum. Os resultados da composição granulométrica, determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997), e da análise química, realizada conforme Embrapa (2009), encontram-se no Quadro 1.

Para a correção da acidez os solos foram previamente incubados por 30 dias com calcário dolomítico, visando elevar a saturação por bases para 60%, em função dos resultados da análise química de cada solo. Ao final da incubação as amostras foram secas ao ar, peneiradas, homogeneizadas e receberam os tratamentos com CaSO₄ 2H₂O, seguido de nova incubação, durante 15 dias, sendo mantido o teor de água próximo a 60% do volume total de poros (VTP), o qual foi calculado com base nos valores de densidade aparente (Da) e densidade de partículas (Dp), avaliadas para os solos estudados, conforme Embrapa (1997).

Na seqüência, após nova secagem e homogeneização, foram transferidas amostras de 1,6 dm³ de cada classe de solo para vasos, onde receberam adubação de sementeira com macro e micronutrientes, aplicados em solução. Para adubação fosfatada foram estabelecidas doses em função do P remanescente de cada solo, conforme recomendação de Alvarez V. et al. (2000), sendo utilizados 192 e 224 mg dm⁻³ de P para o LVd e LVdf,

respectivamente, tendo como fonte fosfato monopotássico e monosódico. Os demais nutrientes, para os dois Latossolos, foram supridos conforme Novais et al. (1991), sendo 30 e 75 mg dm⁻³ de N e K, aplicados na forma de uréia e fosfato monopotássico, respectivamente, e os micronutrientes constituídos de 0,4; 2,0; 0,8; 1,8 e 0,1 mg dm⁻³ de B, Zn, Fe, Mn e Mo, aplicados como ácido bórico, acetato de zinco, cloreto férrico, cloreto de manganês e molibdato de sódio, respectivamente. Realizou-se ainda, em cada amostra de solo, o nivelamento dos teores de Ca²⁺ com uma aplicação de solução de cloreto de cálcio.

QUADRO 1. Composição granulométrica e características químicas de amostras de Latossolo Vermelho Distrófico e Latossolo Vermelho Distroférrico. Dourados, 2009

Atributos dos solos	Solos	
	LVd	LVdf
Argila (g kg ⁻¹)	215	648
Silte (g kg ⁻¹)	58	184
Areia (g kg ⁻¹)	727	168
MO (g kg ⁻¹) ¹	6,5	15,2
pH em H ₂ O	4,8	5,3
S (mg dm ⁻³) ²	4,5	2,1
P (mg dm ⁻³) ³	0,6	0,8
P-rem (mg L ⁻¹) ⁴	15,0	5,0
K ⁺ (mmol _c dm ⁻³) ³	0,5	3,0
Ca ²⁺ (mmol _c dm ⁻³) ⁵	2,0	7,1
Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³) ⁵	0,0	6,1
H ⁺ +Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³) ⁵	31,0	76,0
SB (mmol _c dm ⁻³)	2,5	16,2
T (mmol _c dm ⁻³)	33,5	92,2
V (%)	7,5	17,6

¹ Walkley e Black; ² Ca(H₂PO₄)₂ 500 mg L⁻¹ de P em HOAc 2 mol L⁻¹; ³ Mehlich 1; ⁴ Vitamina C;

⁵ KCl 1 mol L⁻¹

A semeadura ocorreu no dia 18 de abril de 2009 utilizando-se 8 sementes por vaso de crambe da cultivar FMS Brilhante. Aos 10 dias após a semeadura foi realizado o desbaste, mantendo-se duas plantas por vaso. A adubação de cobertura foi realizada aos 20 dias após a semeadura, utilizando-se 30 mg dm⁻³ de N (uréia), 25 mg dm⁻³ de K (cloreto de potássio), e 0,16 mg dm⁻³ de B (ácido bórico). Irrigações periódicas com água destilada

foram realizadas de modo a manter o teor de água do solo próximo a 60% do VTP, com base no peso de cada vaso.

No florescimento pleno foram avaliados, antes do corte, a altura de plantas (AP) com o auxílio de régua graduada. Após o corte, as plantas foram separadas em parte aérea e raiz, sendo os materiais lavados com água deionizada, colocados em sacos de papel perfurado e mantidos em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até peso constante, seguido de determinações das matérias secas da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR).

Posteriormente, o material vegetal foi triturado em moinho tipo Willey, para realização das análises químicas. Parte do material vegetal (0,3 g) foi digerida com solução nítrico-perclórica (duas partes de ácido nítrico concentrado para uma parte de ácido perclórico concentrado), para determinações dos teores de S na parte aérea (TSPA) e nas raízes (TSR), pelo método de turbidimetria do sulfato de bário (MALAVOLTA et al., 1997).

Com a determinação dos teores de S na parte aérea e raízes, foram calculados o acúmulo de S na parte aérea (ASPA) = (TSPA x MSPA); acúmulo de S nas raízes (ASR) = (TSR x MSR); a eficiência de utilização de S (EFUS) = [(matéria seca total produzida)²/(acúmulo total de S na planta)] (SIDDIQI e GLASS, 1981); a eficiência de absorção (EFAS) = [(acúmulo total de S na planta)/(MSR)] (SWIADER et al., 1994) e a eficiência de translocação (EFTS) = [(acúmulo de S na parte aérea)/(acúmulo total de S na planta)]x100 (LI et al., 1991).

Os resultados foram submetidos à análise de variância ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o aplicativo computacional SISVAR. No caso de interação significativa entre os fatores, procederam-se os necessários desdobramentos, sendo os solos comparados pelo teste F e, para as doses de S, foram realizadas análises de regressão.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altura de planta de crambe diferiu significativamente entre as doses de S utilizadas, porém não diferiu entre os solos LVdf e LVd. A partir da equação obtida em função das doses de S, ajustada no conjunto dos solos (Figura 1), determinou-se a altura máxima de plantas (78 cm) obtida com a dose de 29,32 mg dm⁻³ de S. Essa dose proporcionou um incremento de 31% na altura de planta em relação à não aplicação de S.

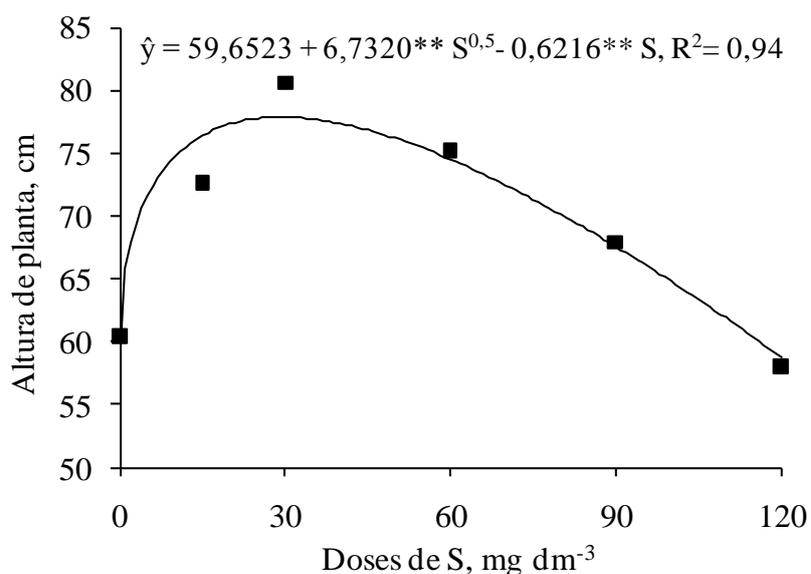


FIGURA 1. Altura de planta do crambe em função de doses de enxofre, no conjunto dos solos. Dourados, 2009.

A aplicação de S promoveu maior produção de matéria seca da parte aérea, onde a máxima produção de 3,33 g/planta, foi obtida com a dose de 33,57 mg dm⁻³ de S (Figura 2). De forma semelhante à altura de plantas, houve um incremento de 27% na produção de matéria seca relativamente a não aplicação do S.

Esse efeito significativo também foi encontrado por Rheinheimer et al. (2007) que obtiveram um nível de suficiência de 24,8 mg dm⁻³ de S para a produção de matéria seca da parte aérea de canola. Da mesma forma, Qian e Schoenau (2007) avaliando a influência do S nas culturas do trigo e da canola, encontraram uma maior demanda de S para a produção de matéria seca pela canola. Observando esses resultados é possível verificar, a grande necessidade desse nutriente para o desenvolvimento das brássicas, podendo ser maior do que o nível de 10 mg dm⁻³ de S considerado atualmente como suficiente para essas espécies (MALAVOLTA e MORAES, 2007).

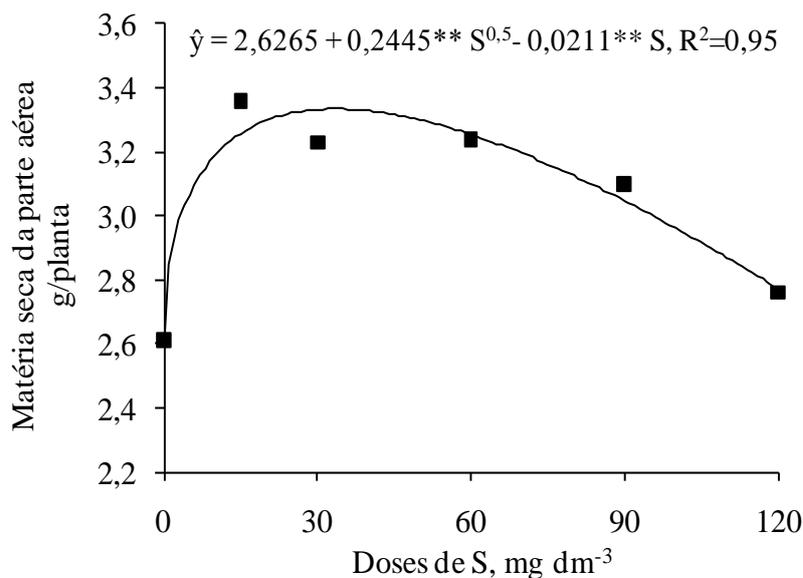


FIGURA 2. Matéria seca da parte aérea do crambe em função de doses de enxofre, no conjunto dos solos. Dourados, 2009.

Além de diferenças entre as doses aplicadas, a matéria seca da parte aérea também apresentou efeito significativo para as classes de solos, no entanto, sem interação entre os fatores. As plantas cultivadas no LVd apresentaram uma produção de matéria seca de 3,25 g/planta, superior àquela observada para as plantas cultivadas no LVdf (Quadro 2). O LVdf por possuir maior teor de argila, constituída em partes por óxidos de ferro e de alumínio, tem maior capacidade tampão de sulfato, logo a reposição do S adsorvido para a solução do solo é feita de modo mais lento (ALVAREZ V. et al., 2007), determinando uma menor disponibilidade do nutriente para as plantas. Rheinheimer et al. (2007), avaliando a aplicação e recuperação de S em cultivos de canola realizados em casa de vegetação em diferentes solos, obtiveram maior matéria seca em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, textura média, porém o mesmo não diferiu do LVdf, muito argiloso.

Para a produção de matéria seca de raízes, a interação solos x doses de S foi significativa. O efeito dos solos em cada dose de S, pode ser observado no Quadro 2, destacando-se que no LVd, geralmente, foram observadas as maiores produções de matéria seca de raízes, porém não diferiram do LVdf nas doses 30 e 60 mg dm⁻³ de S. Assim, a maior produção de matéria seca tanto da parte aérea como de raízes no LVd, corrobora com o fato de este solo apresentar menor capacidade tampão de sulfato, possibilitando maior disponibilidade de S para as plantas, considerando o uso de mesmas doses de S em ambos os solos deste estudo.

QUADRO 2. Matéria seca da parte aérea e matéria seca de raízes de crambe em função de doses de enxofre em Latossolo Vermelho Distroférico e Latossolo Vermelho Distrófico. Dourados, 2009

Solo	Matéria seca da parte aérea g/planta	Matéria seca de raízes, g/planta					
		Doses de S					
		0	15	30	60	90	120
		-----mg dm ⁻³ -----					
LVdf	2,84b	0,32b	0,51b	0,69a	0,66a	0,54b	0,46b
LVd	3,25a	0,68a	0,69a	0,68a	0,64a	0,72a	0,67a
CV(%)	13,9	15,5					

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade

A partir da análise de variância, constatou-se que não houve efeito das doses de S no LVd, apresentando valor médio de 0,68 g/planta, enquanto que o modelo raiz quadrada foi o que melhor explicou a relação entre as variáveis para o LVdf (Figura 3). No LVdf, com a dose de 40,34 mg dm⁻³ de S obteve-se a maior produção de matéria seca de raiz (0,64 g/planta), sendo interessante notar que essa dose ficou próxima à obtida na máxima produção de matéria seca da parte aérea. Qian e Schoenau (2007) também encontraram maior produção de matéria seca das raízes de canola com a adubação sulfatada, e observaram um desenvolvimento reduzido das raízes dessa cultura quando cultivadas em solos deficientes em S.

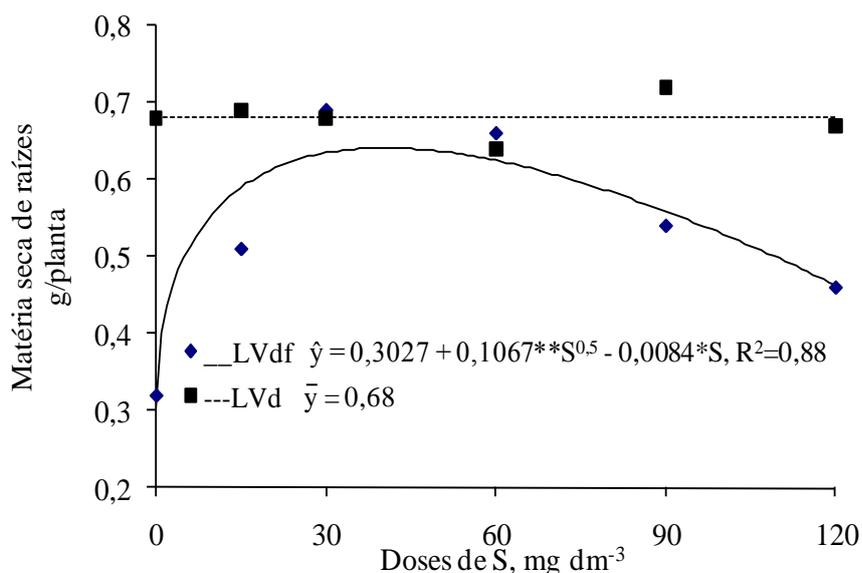


FIGURA 3. Matéria seca de raízes do crambe em função de doses de enxofre em Latossolo Vermelho Distroférico e Latossolo Vermelho Distrófico. Dourados, 2009.

A interação solos x doses de S foi significativa para o teor de S na parte aérea da cultura do crambe. Para ambos os solos, o teor em função das doses de S foi descrito de forma semelhante, com incremento até a dose de 91,0 mg dm⁻³ de S para o LVd e 112,8 mg dm⁻³ de S para o LVdf, determinando um máximo teor de 5,30 e 5,75 g kg⁻¹ de S, respectivamente (Figura 4). Rheinheimer et al. (2005), ao avaliarem a cultura do nabo forrageiro em função da adubação sulfatada, encontraram teores de 5,2 g kg⁻¹ de S com a aplicação de 30 mg dm⁻³ de S, dose esta inferior a observada no presente trabalho. Entretanto, verifica-se que a dose obtida pelos autores foi semelhante à determinada para a máxima produção de matéria seca de crambe no presente estudo, sendo esta dose equivalente a teores próximos a 4,0 g kg⁻¹ de S no tecido.

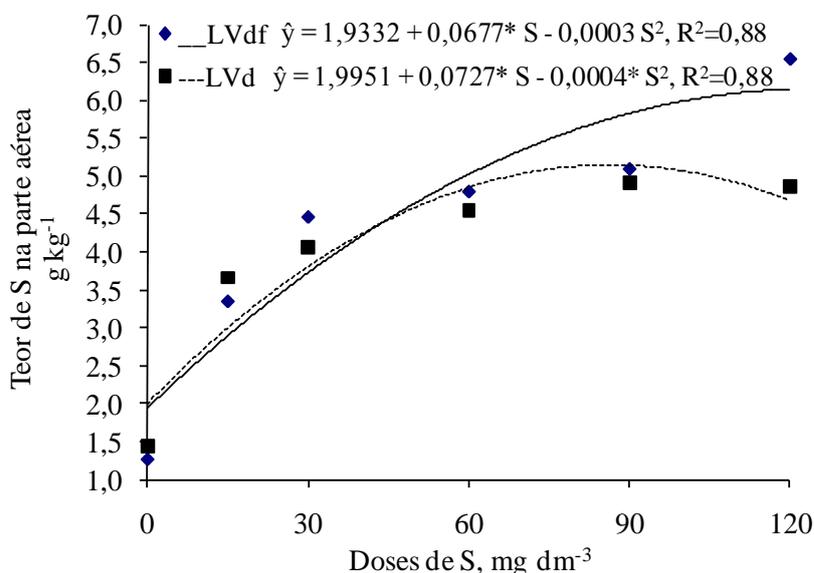


FIGURA 4. Teor de S na parte aérea do crambe em função de doses de enxofre em Latossolo Vermelho Distroférico e Latossolo Vermelho Distrófico. Dourados, 2009.

Apesar do cultivo no LVd ter apresentado maior produção de matéria seca, constatou-se que, nas doses mais elevadas, o incremento no teor de S da parte aérea foi superior no LVdf. Esse fato pode estar relacionado à fase de alongamento das plantas no LVd, que ocasionou um “efeito de diluição”, que segundo Larcher (2004) corresponde a ausência de sincronia entre a absorção de S e o incremento na matéria seca das plantas. Esse efeito também foi observado por Rheinheimer et al. (2007), que ao avaliarem o teor de S na parte aérea da canola, obtiveram menor resposta no Latossolo Vermelho-Amarelo

Distrófico, que proporcionou a maior produção de matéria seca, ocorrendo assim, menor concentração de S no tecido.

Ao avaliar o teor de S na parte aérea para cada solo e doses de S (Quadro 3), obteve-se que nos tratamentos aplicados, não houve diferença entre as duas classes de solos, com exceção da dose 120 mg dm⁻³ de S, onde os teores das plantas cultivadas no LVdf foram superiores ao LVd. Além disso, observou-se que nos tratamentos, exceto na ausência de S, foram obtidos teores no tecido entre 3,34 e 6,55 g kg⁻¹ de S, sendo essa faixa próxima à considerada na literatura como adequada (2,0 a 5,0 g kg⁻¹ de S) para culturas agrícolas (MALAVOLTA e MORAES, 2007).

Apesar da ausência de informações sobre deficiência visual em plantas de crambe, sabe-se que a clorose seguida de avermelhamento das folhas são sintomas característicos de deficiência de S em brássicas (LOPES et al., 2004). Assim, é importante destacar que na ausência de aplicação de S no LVdf, a partir do 25º dia após a semeadura, as plantas de todas as repetições apresentaram um verde-amarelado nas folhas mais novas e posteriormente em toda a planta, evoluindo, no início do florescimento, para bordos avermelhados e um reduzido desenvolvimento da planta.

QUADRO 3. Teor de S nas raízes (TSR), acúmulo de S nas raízes (ASR), eficiência de absorção de S (EFAS), eficiência de translocação de S (EFTS) e teor de S na parte aérea (TSPA) de crambe, em função de doses de enxofre em Latossolo Vermelho Distroférrico e Latossolo Vermelho Distrófico. Dourados, 2009

Solo	TSR g kg ⁻¹	ASR mg/planta	EFAS mg g ⁻¹	EFTS %	TSPA, g kg ⁻¹ Doses de S					
					0	15	30	60	90	120
					-----mg dm ⁻³ -----					
LVdf	1,49b	0,81b	24,16a	93,3a	1,26a	3,34a	4,46a	4,80a	5,10a	6,55a
LVd	1,67a	1,14a	20,94b	91,6b	1,43a	3,66a	4,05a	4,55a	4,90a	4,85b
CV(%)	19,1	28,7	16,5	2,86	11,1					

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade

O teor de S nas raízes diferiu entre as classes de solos estudados (Quadro 3), e entre as doses de S, porém não apresentou interação entre os fatores. Esse teor foi superior no sistema radicular de plantas no LVd, provavelmente devido ao controle da irrigação com 60% do VTP, não havendo saída de água e lixiviação de nutrientes, onde o S disponível não foi perdido do sistema, entrando em contato com as raízes através de fluxo de massa (MALAVOLTA, 2006). Além disso, o menor teor de S nas raízes do LVdf, pode estar

relacionado ao maior teor de S na parte aérea, ocasionado por uma maior translocação do nutriente, via corrente transpiratória, nas plantas cultivadas nesse solo. Em relação à adubação sulfatada, foi observado que, com o incremento da adubação, ocorreu aumento do teor de S, ficando a dose capaz de proporcionar o teor máximo acima dos limites estudados (Figura 5).

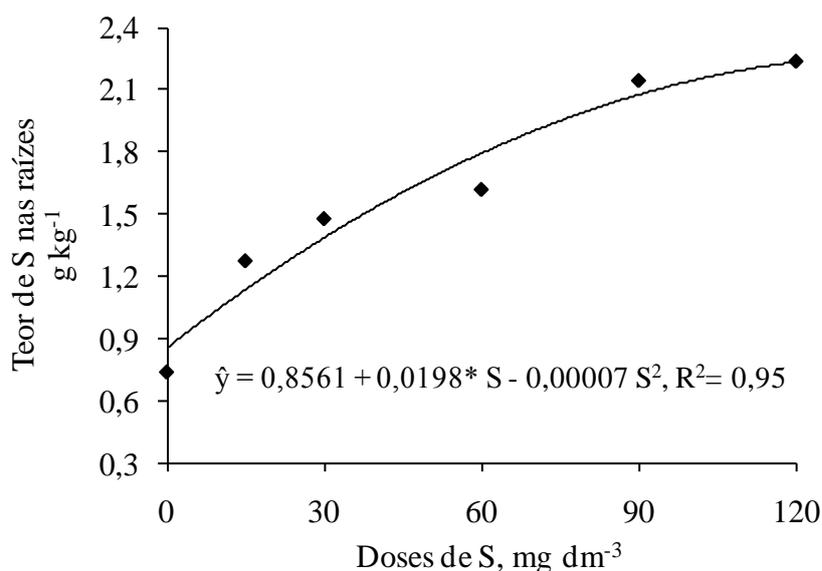


FIGURA 5. Teor de S nas raízes do crambe em função de doses de enxofre, no conjunto dos solos. Dourados, 2009.

Para o acúmulo de S na parte aérea de crambe foi encontrada resposta significativa somente para doses de S, onde o máximo acúmulo de 15,63 mg/planta ocorreu na dose 87,42 mg dm⁻³ de S (Figura 6). Esse máximo acúmulo de S foi 11% maior do que o acúmulo (13,88 mg/planta) na dose de 33,57 mg dm⁻³ de S, que promoveu a produção máxima de matéria seca da parte aérea.

Desta forma, verifica-se que a absorção de S ocorreu em quantidades mais elevadas do que as demandadas para o metabolismo da planta, sendo este fato conhecido como “absorção de luxo”, quantidades estas favorecidas pelas condições adequadas de água nos solos, mantidas durante todo o período de cultivo do crambe. Assim, elevadas adições de enxofre no solo podem significar maior absorção pela planta, sem que ocorram os correspondentes aumentos na produção de matéria seca, ficando os íons absorvidos em excesso, geralmente, compartimentalizados nos vacúolos das células (LARCHER, 2004). Trabalhos têm relatado a absorção de luxo em plantas cultivadas, como na canola, soja, sorgo e feijão (OSÓRIO FILHO et al., 2007; DEON, 2007; RHEINHEIMER et al. 2007),

onde os autores constataram que, havendo uma maior disponibilidade de S no solo, as plantas absorvem quantidades superiores às necessárias para o seu crescimento e desenvolvimento.

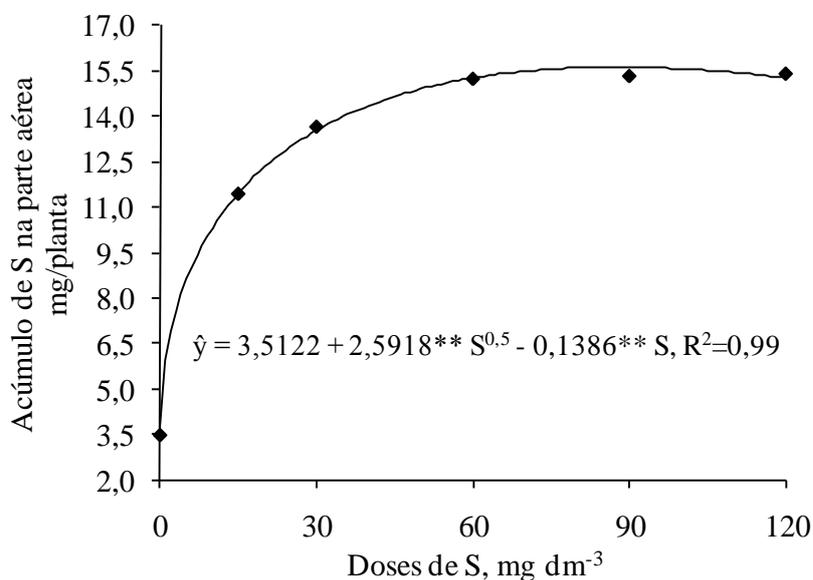


FIGURA 6. Acúmulo de S na parte aérea do crambe em função de doses de enxofre, no conjunto dos solos. Dourados, 2009.

O acúmulo de S nas raízes apresentou efeito significativo para a adubação sulfatada, bem como para as classes de solos, porém sem haver interação entre os fatores. Entre os solos, observou-se que o acúmulo de S nas raízes no LVd foi superior ao LVdf (Quadro 3), podendo estar relacionado tanto ao maior teor de S como a maior produção de matéria seca nas raízes do LVd.

Observou-se, para esta variável, a mesma tendência do teor de S nas raízes, não sendo possível estabelecer a dose correspondente ao máximo acúmulo (Figura 7). Entretanto, a partir da dose de 40,3 mg dm⁻³ de S, que correspondeu à máxima produção de matéria seca das raízes, pode-se estimar, por meio da equação obtida para o acúmulo de S nas raízes, um acúmulo de 1,03 mg planta⁻¹, ou seja, apesar da adubação sulfatada ter proporcionado um maior acúmulo de S nas raízes das plantas, esse acúmulo não foi convertido em matéria seca, o que corrobora com a afirmação de que as plantas não possuem um mecanismo eficiente para evitar a absorção excessiva de enxofre.

A eficiência de utilização de nutrientes na planta, pode ser definida como a habilidade de uma cultura em produzir biomassa com uma menor utilização de S, ou seja, refere-se à relação entre a matéria seca produzida e o acúmulo total do nutriente no tecido

(SIDDIQI e GLASS, 1981). Assim, para a cultura do crambe, obteve-se efeito significativo da adubação sulfatada sobre a eficiência de utilização de S.

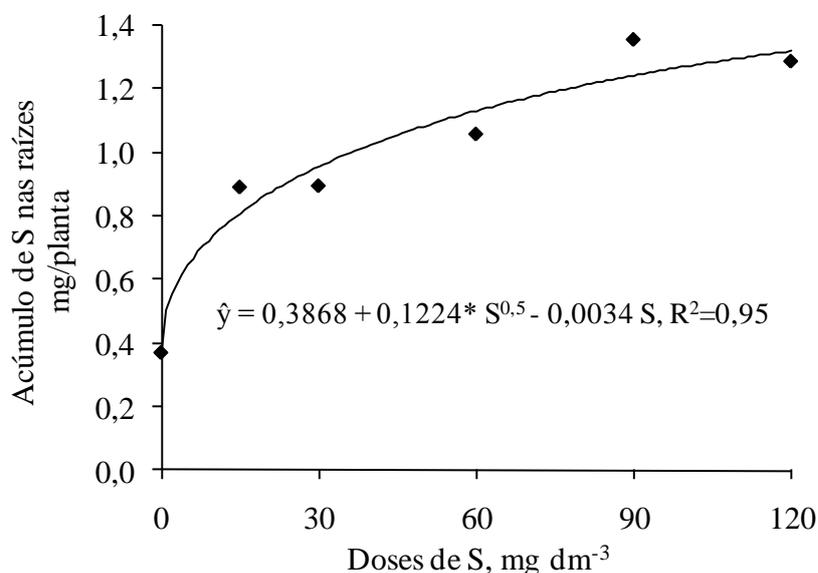


FIGURA 7. Acúmulo de S nas raízes do crambe em função de doses de enxofre, no conjunto dos solos. Dourados, 2009.

Verificou-se que nos tratamentos onde ocorreram os maiores acúmulos de S, corresponderam as menores eficiências das plantas na utilização de S para a produção de matéria seca. A partir da equação apresentada na Figura 8, determinou-se que a dose de 100 mg dm⁻³ de S foi a que proporcionou a menor eficiência de utilização de S (0,74 g² mg⁻¹), correspondendo a uma redução de 71% da eficiência obtida na ausência de adubação sulfatada. No entanto, na dose correspondente a maior produção de matéria seca, a eficiência de utilização foi de 1,06 g² mg⁻¹, apresentando assim uma redução de 59%, relativamente à não aplicação do S.

A eficiência de absorção de S pelo crambe, apresentou efeito para os fatores doses de S e classes de solos. Essa variável pode ser relacionada aos mecanismos que as raízes das plantas possuem para proporcionar uma maior absorção de S, mesmo com um menor desenvolvimento. Destaca-se que esses mecanismos desenvolvidos para a obtenção de alta eficiência diferem entre as espécies, onde algumas produzem extensos sistemas radiculares, enquanto outras têm alta taxa de absorção por unidade de comprimento de raiz, ou seja, alto influxo de nutrientes (TAIZ e ZEIGER, 2009). Assim, mesmo com a menor produção de matéria seca de raízes no LVdf, essas foram capazes de suprir as necessidades das plantas, apresentando maior eficiência de absorção do que as raízes das plantas cultivadas no LVd (Quadro 3).

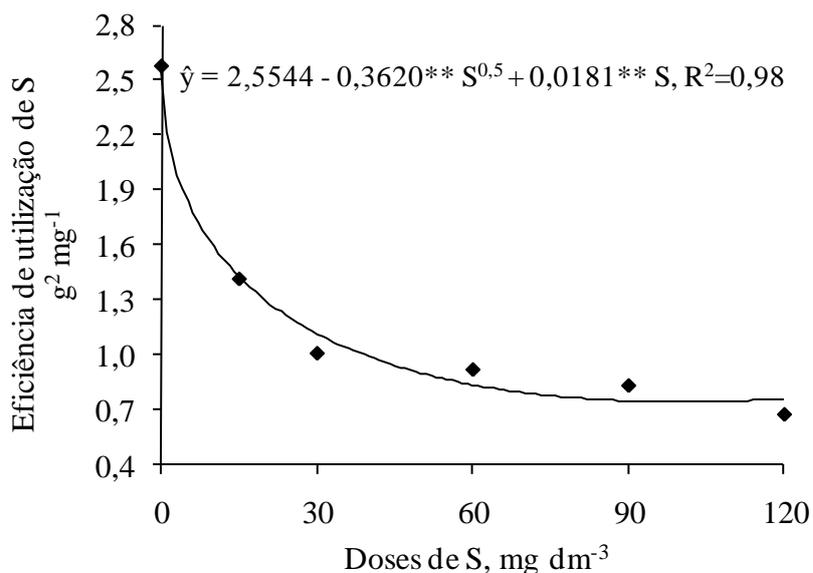


FIGURA 8. Eficiência de utilização de S em crambe em função de doses de enxofre, no conjunto dos solos. Dourados, 2009.

Com o aumento da adubação sulfatada houve incremento na eficiência de absorção de S pelas plantas (Figura 9), onde a máxima não foi atingida com a dose 120 mg dm⁻³ de S. Apesar da alta eficiência de absorção e do elevado acúmulo de S até as maiores doses, verificou-se uma resposta inversamente proporcional à produção de matéria seca das raízes, corroborando com a afirmação de que as plantas realizam uma absorção de luxo desse nutriente.

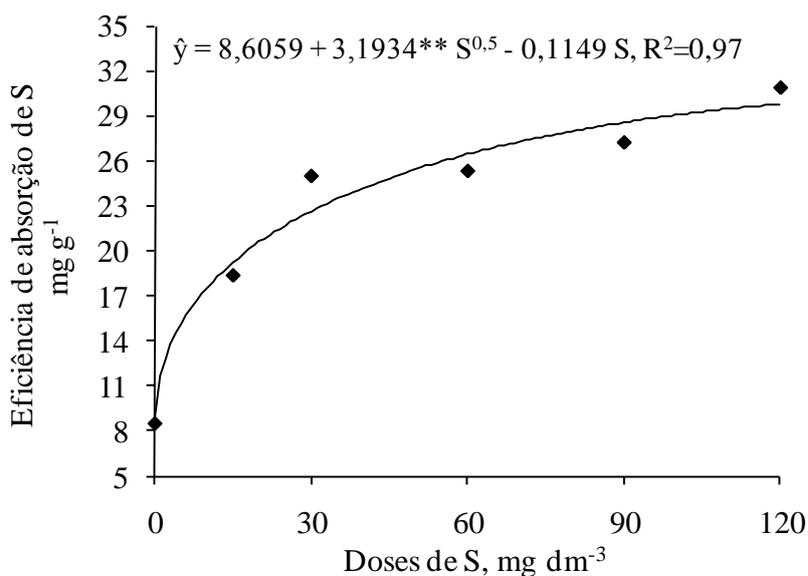


FIGURA 9. Eficiência de absorção de S em crambe em função de doses de enxofre, no conjunto dos solos. Dourados, 2009.

A capacidade da planta em converter o nutriente absorvido em matéria seca da parte aérea indica a eficiência de translocação, que no presente estudo foi influenciado somente pelas classes de solo (Quadro 3), não diferindo entre as doses de S. No LVdf, as plantas apresentaram uma eficiência de translocação de 93,3%, superior à obtida no LVd (91,6%).

Sendo a absorção e o transporte iônico nas raízes os fatores mais limitantes da distribuição do S via corrente transpiratória (TAIZ e ZEIGER, 2009), verificou-se que o LVdf proporcionou uma maior eficiência de absorção pelas plantas de crame, contribuindo assim para que a translocação fosse realizada de forma mais eficiente. Além disso, as plantas cultivadas no LVdf, apresentaram um maior teor de S na parte aérea do que nas raízes, concordando com os resultados obtidos para a eficiência de translocação do S, ou seja, a distribuição de S nas plantas desse solo foi mais eficiente do que as do LVd.

1.4 CONCLUSÕES

A cultura do crambe responde em produção de matéria seca e em altura de planta à aplicação de até 40 mg dm^{-3} de S.

O incremento na adubação sulfatada favorece o acúmulo e a absorção de enxofre pelo crambe, porém reduz a eficiência de utilização deste nutriente.

Plantas de crambe diferem quanto à quantidade absorvida e ao aproveitamento do S, quando cultivadas em solos com diferentes composições granulométricas.

1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, J. W. R. **Disponibilidade e resposta de culturas ao enxofre em solos do Rio Grande do Sul**. 2004. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. **Determinação e uso do fósforo remanescente**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.25, p.27-33, 2000 (Boletim Informativo).

ALVAREZ V., V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. F. Enxofre. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, p.595-635, 2007.

BROCH, D. L.; RANNO, S. K. Fertilidade do solo na cultura da soja. In: FUNDAÇÃO MS. **Tecnologia e produção: soja e milho 2007/2008**. Maracaju: FUNDAÇÃO MS, p.7-37, 2007.

CASAGRANDE, J. C.; ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A.; BORGES, M. Adsorção de fosfato e sulfato em solos com cargas elétricas variáveis. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.1, p.51-59, 2003.

DEON, M. D. **Crescimento e nutrição mineral da soja submetida a excesso de P, S, K, Ca e Mg em solução nutritiva**. 2007. 71p. Dissertação (Mestrado em Solo e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - USP, Piracicaba.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004. 531p.

LI, B.; MCKEAND, S. E.; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **For Science**, Bethesda, v.37, n.2, p.613-626, 1991.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, R. **Guia de fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/ANDA/POTAFOS, 2004 (Versão multimídia).

MALAVOLTA, E. **Efeitos de doses e fontes de enxofre em culturas de interesse econômico. I-Capim Colonião. II-Colza. III-Sorgo Sacarino**. São Paulo: Centro de pesquisa e promoção de Sulfato de Amônio. 1984. 60p. (Boletim técnico, 3).

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631p.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. Fundamentos do nitrogênio e enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Eds.). **Simpósio sobre nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. p.188-249.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S. (Coord.) **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: EMBRAPA-SEA, p.189-253, 1991 (Documentos, 3).

OSÓRIO FILHO, B. D.; RHEINHEIMER, D. S.; SILVA, L. S.; KAMINSKI, J.; DIAS, G. F. Deposição do enxofre atmosférico no solo pelas precipitações pluviais e respostas de culturas à adubação sulfatada em sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.3, p.712-719, 2007.

PERES, J. R. R.; FREITAS JUNIOR, E.; GAZZONI, D. L. Biocombustíveis: uma oportunidade para o agronegócio brasileiro. **Revista Política Agrícola**, Brasília, v.14, n.1, p.31-41, 2005.

PITOL, C. Cultura do Crambe. In: FUNDAÇÃO MS. **Tecnologia e produção: milho safrinha e culturas de inverno 2008**. Maracaju: FUNDAÇÃO MS/ COOAGRI, p.85-88, 2007.

QIAN, P.; SCHOENAU, J. J. Using an anion exchange membrane to predict soil available N and S supplies and the impact of N and S fertilization on Canola and Wheat growth. **Pedosphere**, Nanjing, v.17, n.1, p.77-83, 2007.

RHEINHEIMER, D. S.; ALVAREZ, J. W. R.; OSORIO FILHO, B. D.; SILVA, L. S.; BORTOLUZZI, E. C. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria v.35, n.3, p.562-569, 2005.

RHEINHEIMER, D. S.; RASCHE, J. W. A.; OSORIO FILHO, B. D.; SILVA, L. S. Resposta à aplicação e recuperação de enxofre em cultivos de casa de vegetação em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.2, p.363-371, 2007.

SCHERER, H. W. Sulphur in crop production. **European Journal of Agronomy**, v.14, p.81-111, 2001.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal Plant Nutrition**, Philadelphia, v.4, n.3, p.289-302, 1981.

SILVA, D. J.; ALVAREZ V., V. H.; H. A. RUIZ, H. A. Fluxo de massa e difusão de enxofre para raízes de milho em solos ácidos de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.1, p.109-114, 1998.

SWIADER, J. M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.17, n.10, p.1687-1699, 1994.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. 4 ed. New York: Macmillan, 1995. 754p.

CAPÍTULO II

ENXOFRE RECUPERADO POR EXTRATORES QUÍMICOS EM DOIS LATOSSOLOS VERMELHO CULTIVADOS COM CRAMBE

RESUMO: O objetivo desse experimento foi avaliar o enxofre disponível por diferentes extratores químicos e suas relações com a produção de matéria seca, a concentração e o acúmulo de enxofre em crambe submetido à adubação sulfatada em Latossolo Vermelho Distroférico e Latossolo Vermelho Distrófico. O experimento foi realizado em casa de vegetação e no Laboratório de Fertilidade do Solo, da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), em Dourados/MS, no período de março a outubro de 2009. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 6, com quatro repetições, cujos fatores foram duas classes de solos (Latossolo Vermelho Distrófico, com 215 g kg⁻¹ de argila, e Latossolo Vermelho Distroférico, com 648 g kg⁻¹ de argila), e seis doses de enxofre (0; 15; 30; 60; 90 e 120 mg dm⁻³ de S, na forma de gesso agrícola). Foram utilizadas sementes de crambe (*Crambe abssynica* Hoechst) cultivar FMS Brilhante. No florescimento pleno foram avaliados a produção de matéria seca total, a concentração de S total e o acúmulo de S total das plantas. Nas amostras de solos foram determinados os teores de S disponível pelos extratores químicos Ca(H₂PO₄)₂ 500 mg L⁻¹ de P em HOAc 2 mol L⁻¹, Ca(H₂PO₄)₂ 500 mg L⁻¹ de P em H₂O e CaCl₂ 10 mmol L⁻¹. Nas condições em que o experimento foi realizado, os extratores Ca(H₂PO₄)₂ em HOAc e CaCl₂ recuperaram maiores quantidades de S disponível no Latossolo Vermelho Distrófico, no entanto, o CaCl₂ não foi eficiente em valores inferiores a 12 mg dm⁻³ de S no solo. O extrator Ca(H₂PO₄)₂ em H₂O apresentou o maior coeficiente de correlação com a concentração e o acúmulo de S pelo crambe nos dois solos estudados.

Palavras-chave: *Crambe abssynica*; solos intemperizados; extração de enxofre.

2.1 INTRODUÇÃO

O enxofre (S) é o quarto nutriente mais limitante em solos muito intemperizados e, se apenas as regiões tropicais forem consideradas, sua deficiência pode ser ainda mais severa. Dentre os que melhor representam as tendências pedogênicas dos solos tropicais, destacam-se os Latossolos, que se caracterizam por apresentarem horizonte subsuperficial mineral B latossólico, evidenciando um avançado grau de intemperismo, grande profundidade e baixa capacidade de troca de cátions (REIN e SOUSA, 2004).

Nos solos, o S encontra-se nas formas orgânica e inorgânica, onde apesar da primeira representar mais de 90% do S total na maioria dos solos, é o S na forma inorgânica (SO_4^{2-}) que é absorvido pelas plantas, o qual se encontra na solução do solo ou adsorvido na superfície dos colóides inorgânicos em diferentes graus de energia, com ligação mono ou bi coordenada aos compostos de Fe ou Al (CASAGRANDE et al., 2003). Assim, em solos com baixo percentual de colóides inorgânicos, a alta disponibilidade de SO_4^{2-} pode significar maiores perdas deste ânion por percolação, ficando inacessível às raízes das plantas, podendo resultar em um maior agravamento dos sintomas de deficiência de S, cada vez mais frequentes nos solos brasileiros (ALVAREZ V. et al., 2007).

A disponibilidade de nutrientes, geralmente tem sido estimada por extratores químicos, cujo princípio é de haver correlação entre o teor extraído e o absorvido pela planta. Para o S, os estudos têm sido dirigidos para a determinação de S- SO_4^{2-} , uma vez que as formas oclusas nos silicatos ou mesmo formas insolúveis não são totalmente extraídas, por isso, na maioria das vezes, há uma subestimativa do S total (BARDSLEY e LANCASTER, 1960).

Na extração de S com a solução de CaCl_2 10 mmol L^{-1} determina-se, preferencialmente, formas de SO_4^{2-} presentes na solução do solo e porções de SO_4^{2-} adsorvidas, mas passíveis de retornar à solução (REISENAUER, 1975). Já o princípio de utilização de fosfato monocálcico ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) como extrator, baseia-se na troca do ânion SO_4^{2-} pelo H_2PO_4^- , o qual fica fortemente retido, deixando o sulfato em solução e, assim, é quantificado o S em solução mais uma parte do SO_4^{2-} adsorvido. Embora com a mesma concentração de fosfato, em geral, o extrator $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em água possui menor capacidade de extração do que o $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em ácido acético, devido a ausência do ânion acetato que possibilita a extração de frações do S orgânico (ALVAREZ V. et al., 2001).

Desta forma, observa-se que existem diversos métodos de extração, que podem analisar o S de compostos orgânicos, o S de reserva, as formas facilmente solúveis, ou

ainda as frações de S adsorvido, trocados com diferentes graus de dificuldade (BARDSLEY e LANCASTER, 1960). Contudo, a determinação do melhor método para os diversos tipos de solos dependerá de suas características químicas e mineralógicas, as quais influirão diretamente no poder tampão dos mesmos.

Assim, o objetivo desse experimento foi avaliar o enxofre disponível por diferentes extratores químicos e suas relações com a produção de matéria seca, a concentração e o acúmulo de enxofre em crambe submetido à adubação sulfatada em Latossolo Vermelho Distroférico e Latossolo Vermelho Distrófico.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, na Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, localizada no município de Dourados/MS, no período de março a outubro de 2009. O local situa-se em latitude 22°14'08''S, longitude 54°59'13''W e altitude de 434 m. O clima da região enquadra-se no tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições, em esquema fatorial 2 x 6, cujos fatores foram duas classes de solos: Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), textura média, e Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf), muito argiloso, e seis doses de enxofre (0; 15; 30; 60; 90 e 120 mg dm⁻³ de S) aplicadas na forma de gesso agrícola (CaSO₄.2H₂O), com 16% de S, determinado conforme Embrapa (2009). As doses foram estabelecidas em função do P remanescente, de acordo com recomendação de Alvarez V. et al. (2000), sendo adotados valores equivalentes para ambos os solos.

As amostras dos solos foram retiradas na profundidade de 0 a 30 cm, sendo o LVdf coletado no Aeroporto Municipal de Dourados em uma área sob pousio, com vegetação predominante por braquiária, e o LVd coletado em uma área de Cerrado no km 38 da rodovia Dourados-Itahum. A composição granulométrica, determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997), e as análises químicas dos solos, realizadas conforme EMBRAPA (2009), encontram-se no Quadro 1.

Para a correção da acidez os solos foram previamente incubados por 30 dias com calcário dolomítico, visando elevar a saturação por bases para 60%, em função dos resultados da análise química de cada solo. Ao final da incubação as amostras foram secas ao ar, peneiradas, homogeneizadas e receberam os tratamentos com S, seguido de nova incubação, durante 15 dias, sendo o teor de água mantido próximo a 60% do volume total de poros (VTP), o qual foi calculado com base nos valores de densidade aparente (Da) e densidade de partículas (Dp), avaliadas para os solos estudados (EMBRAPA, 1997).

Na seqüência, os solos foram transferidos para vasos de 1,6 dm³ onde receberam adubação de sementeira com macro e micronutrientes, aplicados em solução. Para adubação fosfatada foram estabelecidas doses em função do P remanescente de cada solo, conforme recomendação de Alvarez V. et al. (2000), sendo utilizados 192 e 224 mg dm⁻³ de P para o LVd e LVdf, respectivamente, tendo como fonte fosfato monopotássico e monossódico. Os demais nutrientes, para os dois Latossolos, determinados conforme

Novais et al. (1991), foram aplicados 30 e 75 mg dm⁻³ de N e K na forma de uréia e fosfato monopotássico, respectivamente, e 0,4; 2,0; 0,8; 1,8 e 0,1 mg dm⁻³ de B, Zn, Fe, Mn e Mo, cujas fontes foram ácido bórico, acetato de zinco, cloreto férrico, cloreto de manganês e molibdato de sódio, respectivamente. Realizou-se ainda, em cada amostra de solo, o equilíbrio dos teores de Ca²⁺ com a aplicação de solução de cloreto de cálcio.

QUADRO 1. Composição granulométrica e características químicas de amostras de Latossolo Vermelho Distrófico e Latossolo Vermelho Distroférrico. Dourados, 2009

Atributos dos solos	Solos	
	LVd	LVdf
Argila (g kg ⁻¹)	215	648
Silte (g kg ⁻¹)	58	184
Areia (g kg ⁻¹)	727	168
MO (g kg ⁻¹) ¹	6,5	15,2
pH em H ₂ O	4,8	5,3
S (mg dm ⁻³) ²	4,5	2,1
P (mg dm ⁻³) ³	0,6	0,8
P-rem (mg L ⁻¹) ⁴	15,0	5,0
K ⁺ (mmol _c dm ⁻³) ³	0,5	3,0
Ca ²⁺ (mmol _c dm ⁻³) ⁵	2,0	7,1
Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³) ⁵	0,0	6,1
H ⁺ +Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³) ⁵	31,0	76,0
SB (mmol _c dm ⁻³)	2,5	16,2
T (mmol _c dm ⁻³)	33,5	92,2
V (%)	7,5	17,6

¹ Walkley e Black; ² Ca(H₂PO₄)₂ 500 mg L⁻¹ de P em HOAc 2 mol L⁻¹; ³ Mehlich 1; ⁴ Vitamina C;

⁵ KCl 1 mol L⁻¹

A semeadura ocorreu no dia 18 de abril de 2009 utilizando-se 8 sementes por vaso, de crambe da cultivar FMS Brilhante. Aos 10 dias após a semeadura foi realizado o desbaste, mantendo-se duas plantas por vaso. A adubação em cobertura foi realizada aos 20 dias após a semeadura, utilizando-se 30 mg dm⁻³ de N (uréia), 25 mg dm⁻³ de K (cloreto de potássio) e 0,16 mg dm⁻³ de B (ácido bórico). Irrigações periódicas com água destilada foram realizadas de modo a manter o teor de água do solo próximo a 60% do VTP, com base no peso de cada vaso.

No florescimento pleno, após o corte, as plantas foram separadas em parte aérea e raiz, sendo os materiais lavados com água deionizada, colocados em sacos de papel perfurado e mantidos em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até peso constante, obtendo-se a matéria seca da parte aérea e das raízes, para determinação da matéria seca total da planta (MST).

Posteriormente, o material vegetal foi triturado em moinho tipo Willey, para realização das análises químicas no Laboratório de Fertilidade do Solo da UFGD. Parte do material (0,3 g) foi digerido com solução nítrico-perclórica (na proporção de duas partes de ácido nítrico para uma de ácido perclórico, das soluções concentradas), obtendo-se os teores de S na parte aérea e nas raízes, pelo método de turbidimetria do sulfato de bário (MALAVOLTA et al., 1997) e, por cálculo, foi estimada a concentração de S total na planta (CST). Com os valores da matéria seca total da planta e da concentração de S total na planta foi calculado o acúmulo de S total na planta [(AST) = (MST x CST)].

Juntamente com a colheita da cultura, amostras dos solos foram coletadas, peneiradas, secas em estufas, homogeneizadas e submetidas às determinações dos teores de S disponível pelos extratores químicos fosfato monocálcico 500 mg L⁻¹ de P, em ácido acético 2,0 mol L⁻¹ (Ca(H₂PO₄)₂ em HOAc); fosfato monocálcico 500 mg L⁻¹ de P, em água (Ca(H₂PO₄)₂ em H₂O); e cloreto de cálcio (CaCl₂) a 10mmol L⁻¹, conforme metodologia descrita por Alvarez V. et al. (2001).

Para cada extrator, após a agitação das amostras, as misturas solo/solução foram filtradas, usando-se papel de filtro quantitativo de filtragem lenta, obtendo-se extratos incolores. Nas alíquotas dos extratos e na curva de calibração, adicionou-se reagente de trabalho, preparado conforme metodologia para cada extrator, e solução-padrão 15 mg L⁻¹ de S (sementes de S), obtida com K₂SO₄ p.a. seco a 105°C diluído em água destilada, sendo a adição dessa solução necessária para evitar o ajuste de duas retas para a absorvância em função da concentração de S, conforme o desvio à Lei de Lambert-Beer na turbidimetria de sulfatos (ALVAREZ V. et al., 2001). Após a formação da turbidez, as leituras foram realizadas em espectrofotômetro (420nm).

Os dados de S no solo extraído por diferentes extratores químicos foram submetidos à análise de variância ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o programa SISVAR. No caso de interação significativa entre os fatores, procederam-se os necessários desdobramentos, sendo os solos comparados pelo teste F e, para as doses de S, realizou-se análise de regressão. Realizaram-se ainda, correlações lineares simples, com

combinações dos teores de S disponível, em cada extrator, com a massa seca total, a concentração de S total e o acúmulo de S no tecido das plantas.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise de variância observou-se interação significativa entre solos e doses de S, para o S disponível extraído pelos três extratores químicos nas amostras de solos coletadas após o cultivo do crambe. Verificou-se que, para todos os extratores, os teores de S disponível nos dois Latossolos foi descrito por respostas lineares, diferindo quando ao incremento nas quantidades recuperadas (Figura 1).

A utilização do extrator $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 500 mg L^{-1} de P em HOAc $2,0 \text{ mol L}^{-1}$, resultou em maior recuperação de S no LVd do que no LVdf, independente das doses. Os incrementos nos teores de S recuperado, verificados entre a não aplicação e a dose máxima de S, foram de $32,6$ e $18,9 \text{ mg dm}^{-3}$ de S, respectivamente para o LVd e LVdf (Figura 1A). Em outras palavras, as taxas de recuperação para cada grama do S aplicado foram da ordem de $0,27$ e $0,16 \text{ mg}$ de S disponível, para os solos LVd e LVdf, respectivamente, constatando-se que a extração de S no LVd foi $68,8\%$ superior ao observado para o LVdf.

Maiores quantidades S disponível foram obtidas por $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 500 mg L^{-1} de P em H_2O , com incrementos de $55,6 \text{ mg dm}^{-3}$ de S no LVd e $47,6 \text{ mg dm}^{-3}$ de S no LVdf, entre a não aplicação e a dose máxima de S aplicada. No entanto, as taxas de recuperação foram próximas entre os solos, com $0,46$ e $0,40 \text{ mg}$ de S disponível por grama de S aplicado no LVd e LVdf, respectivamente, correspondendo a uma diferença de 15% entre os mesmos (Figura 1B). Quanto à extração por CaCl_2 10 mmol L^{-1} , os incrementos na quantidade de S disponível foram ainda maiores, verificando-se entre a não aplicação e a dose máxima de S aplicada, $78,1 \text{ mg dm}^{-3}$ de S no LVd e $50,4 \text{ mg dm}^{-3}$ de S no LVdf. Assim, as taxas de recuperação, $54,8\%$ superior no LVd, foram equivalente à $0,65$ e $0,42 \text{ mg}$ de S disponível por grama de S aplicado em cada solo, respectivamente (Figura 1C).

Observou-se de modo geral, exceto no extrator $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em H_2O , uma tendência a maior disponibilidade de S no solo LVd, devido ao menor teor de argila desse solo. Assim, o solo mais argiloso, constituído principalmente por óxidos e hidróxidos de Fe e Al apresentou maior capacidade tampão de sulfato, bem como, maior capacidade de adsorção de S, disponibilizando assim, menos S na solução do LVdf.

Essa maior capacidade de recuperação de S em solos com menor teor de argila, também foi obtido por Rheinheimer et al. (2007), que encontraram para o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico maior capacidade de extração de S do que para o Latossolo Vermelho Distroférico, onde cada grama de S aplicado resultou em $0,74$ e $0,58 \text{ mg}$ de S recuperado, respectivamente, porém com a utilização do extrator $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em H_2O . Da

mesma forma, Alves (2002) também obtiveram maiores teores de S na solução do solo LVd do que no LVdf, no entanto, com o extrator CaCl_2 .

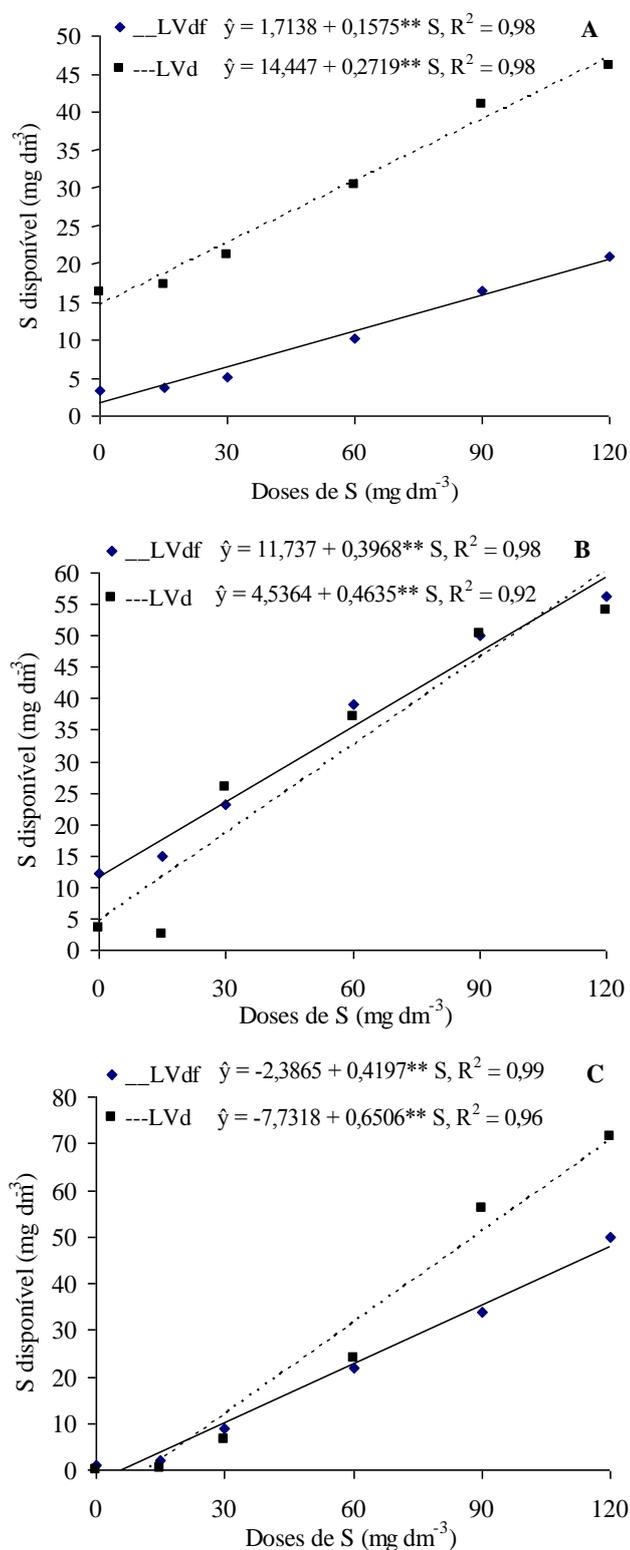


FIGURA 1. Enxofre disponível extraído com (A) $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em HOAc; (B) $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em H_2O ; e (C) CaCl_2 em função de doses de enxofre em Latossolo Vermelho Distroférico e Latossolo Vermelho Distrófico, após o cultivo de crambe. **significativo a 1% de probabilidade. Dourados, 2009.

O extrator $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em HOAc tem sido descrito como o que extrai os maiores teores de S na solução, devido a sua capacidade de deslocar o sulfato adsorvido e o S orgânico (ALVAREZ V. et al., 2001). Verificou-se que esse extrator recuperou quantidades superiores de S disponível no LVd. Esse fato pode estar relacionado ao maior teor de argila e matéria orgânica do LVdf, que segundo Alvarez V. et al. (1983), apresentam correlações negativas com os teores de S obtidos pelo extrator $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em HOAc, indicando a capacidade de recuperar maiores quantidades de S em solução em solos de textura média a arenosa. Os mesmos autores afirmam ainda que isso possa ter ocorrido pelo fato deste extrator ser muito sensível à capacidade-tampão de sulfatos dos solos. Da mesma forma, resultados obtidos por Bissani (1985), ao utilizarem $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 500 mg L⁻¹ de P em H₂O e em HOAc 2 mol L⁻¹ para avaliar o S disponível em diferentes solos, demonstraram que a recuperação de S foi maior na presença de H₂O e menor em HOAc, principalmente nos solos argilosos.

Observando as equações ajustadas (Figura 1B e 1C), verificou-se que o S disponível pelo $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em H₂O e pelo CaCl_2 , apresentaram incrementos próximos nos dois tipos de solos, ao contrário do que ocorreu com a extração por $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em HOAc. Além disso, observou-se que a extração com $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em H₂O, foi menos eficiente na diferenciação entre a disponibilidade de S nos solos, quando submetidos a altas doses de S. O contrário foi observado com o extrator CaCl_2 , por meio do qual não foi possível extrair valores muito baixos de S nos solos, sendo detectado S na solução somente a partir da dose de 5,70 mg dm⁻³ de S no LVdf, e 11,90 mg dm⁻³ de S no LVd.

Alguns autores afirmam que a extração de S pelo CaCl_2 é inferior à obtida pelos demais extratores, devido à recuperação basicamente de S solúvel e frações de S adsorvido, mas facilmente retornáveis a solução (REISENAUER et al., 1975), sendo esta característica agravada em solos mais argilosos e com maiores teores de matéria orgânica (FERNANDES et al., 2007). Além disso, Matula (1999) afirmou que outra limitação encontrada na utilização do CaCl_2 é a possibilidade de ocorrer precipitação com o sulfato durante o processo de extração, reduzindo a concentração de S disponível no solo. No entanto, no presente experimento, essa menor extração somente foi constatada nas menores doses de S aplicado, sendo que a partir da dose 60 mg dm⁻³ de S, os valores recuperados foram próximos aos obtidos com os demais extratores. Para Dias et al. (1994), a recuperação de S pelo CaCl_2 pode ser explicada pela rápida solubilização do gesso agrícola, disponibilizando maiores teores de S na solução.

Essas observações concordam com as diferenças obtidas para os solos dentro de cada dose de S aplicado, verificadas no Quadro 2. A capacidade de recuperação de S com a utilização do $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em HOAc, foi inferior no LVdf em todas as doses aplicadas. A extração por CaCl_2 foi maior no LVdf nas menores doses, porém foi superior no LVd nas doses mais elevadas, entretanto, com diferenças significativas somente nas doses 90 e 120 mg dm^{-3} de S. Já a recuperação de S pelo $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em H_2O somente apresentou efeito nas doses 0 e 15 mg dm^{-3} de S, sendo o LVdf superior ao LVd.

QUADRO 2. Enxofre disponível extraído com três extratores químicos em função de doses de enxofre em Latossolo Vermelho Distroférrico e Latossolo Vermelho Distrófico, após o cultivo de crambe. Dourados, 2009

Solos	Doses de S (mg dm^{-3})					
	0	15	30	60	90	120
----- S extraído com $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em HOAc (mg dm^{-3}) -----						
LVdf	3,34 b	3,68 b	5,14 b	10,25 b	16,48 b	21,00 b
LVd	16,25 a	17,24 a	21,20 a	30,45 a	41,05 a	46,14 a
CV (%)	13,5					
----- S extraído com $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em H_2O (mg dm^{-3}) -----						
LVdf	12,12 a	14,94 a	23,16 a	39,06 a	49,95 a	56,19 a
LVd	3,48 b	2,59 b	25,76 a	37,02 a	50,23 a	54,11 a
CV (%)	10,6					
----- S extraído com CaCl_2 (mg dm^{-3}) -----						
LVdf	0,86 a	2,16 a	8,97 a	21,95 a	33,88 b	50,05 b
LVd	0,00 a	0,38 a	6,50 a	24,04 a	56,06 a	71,58 a
CV (%)	26,4					

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade

Relacionando-se as características das plantas de crambe com o S recuperado pelos extratores no solo LVdf, observou-se correlação significativa da concentração de S total na planta e do acúmulo de S total no crambe, com o S disponível pelos três extratores (Figura 2). No entanto, não foram encontradas correlações significativas do S disponível pelos três extratores com a matéria seca total das plantas de crambe. Resultado semelhante foi obtido por Fontes et al. (1982) que ao avaliarem a disponibilidade de S por três extratores químicos em diferentes solos, afirmaram que a ausência de significância para os coeficientes de correlação obtidos para a matéria seca, podem estar relacionados a outros

fatores ambientais que influenciam na produção de matéria seca, além da quantidade do elemento disponível no solo.

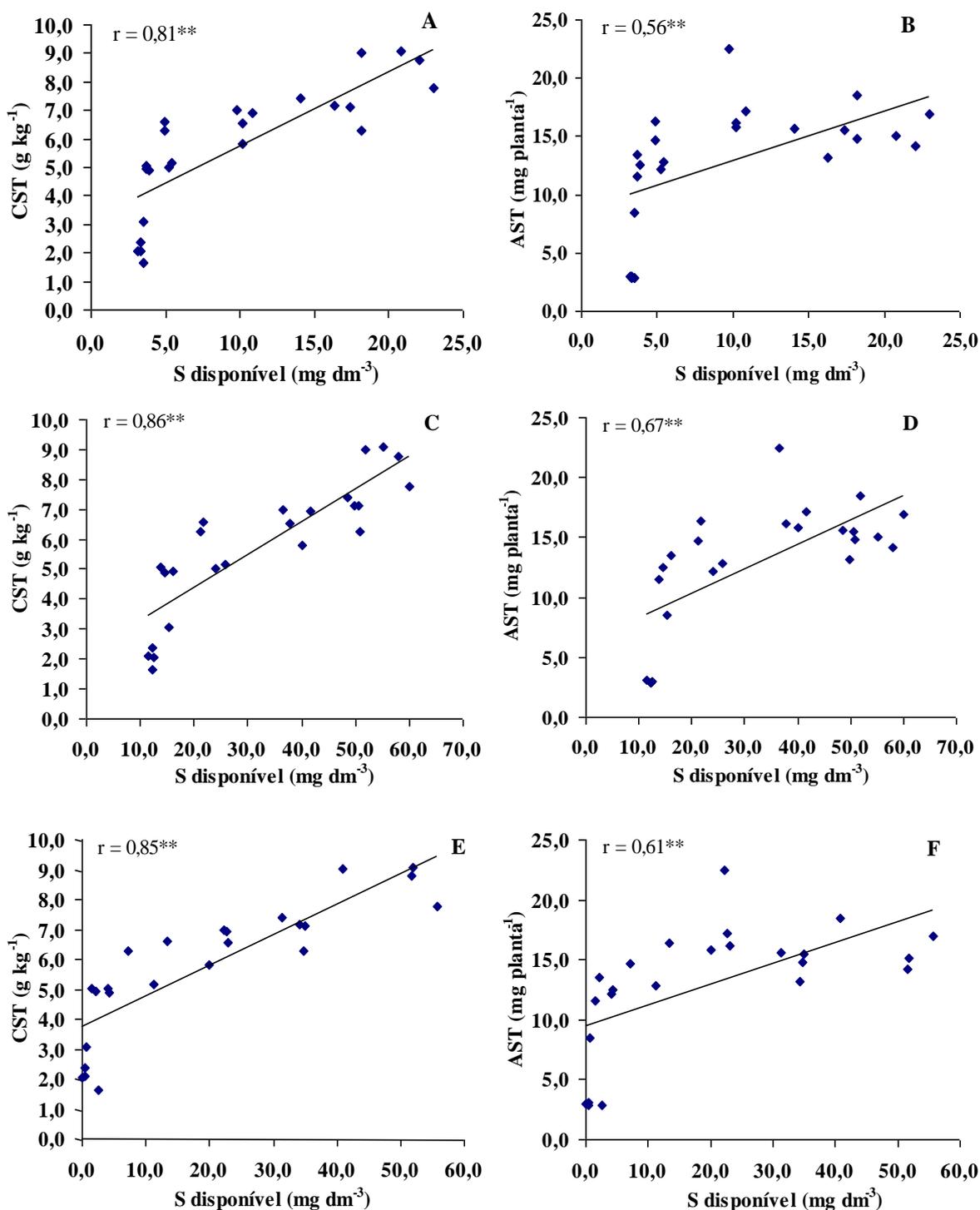


FIGURA 2. Correlação da concentração de S total e do acúmulo de S total em plantas de crambe, com o S disponível extraído com (A e B) Ca(H₂PO₄)₂ em HOAc; (C e D) Ca(H₂PO₄)₂ em H₂O; e (E e F) CaCl₂ em Latossolo Vermelho Distroférico. ******significativo a 1% de probabilidade. Dourados, 2009

Verificou-se que a recuperação de S pelo extrator $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em H_2O foi o que apresentou maior correlação com a concentração de S total (Figura 2C) e o acúmulo de S na planta (Figura 2D). Da mesma forma, a utilização do CaCl_2 também se correlacionou com ambas as variáveis (Figura 2E e 2F), porém, com menores coeficientes do que o $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em H_2O .

Destaca-se que no LVdf, o S disponível extraído por $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em HOAc foi o que apresentou menor correlação com a concentração de S (Figura 2A) e o acúmulo de S total (Figura 2B), podendo esse fato estar associado a menor capacidade de recuperação de S por esse extrator em solos argilosos. Esse resultado diverge do obtido por Kliemann e Malavolta (1993), que ao avaliarem a disponibilidade de S por diferentes extratores químicos, concluíram que esse extrator apresentou melhor correlação tanto com a produção de matéria seca, quanto com a absorção de S por plantas de milho.

Para o solo LVd, foram encontradas correlações positivas entre a concentração e o acúmulo de S em crambe com o S recuperado pelos extratores (Figura 3), sendo que para a matéria seca total não houve correlação significativa com o S disponível nesse solo. Essa ausência de correlação do S disponível nos solos, com a matéria seca total das plantas de crambe e as correlações significativas obtidas com a concentração e o acúmulo de S, podem estar associadas a “absorção de luxo” pelas plantas, onde a absorção de S ocorre em quantidades mais elevadas do que as demandadas para o metabolismo da planta.

O maior valor do coeficiente de correlação foi obtido entre o S disponível pelo extrator $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em H_2O , com a concentração de S (Figura 3C) e o acúmulo de S total nas plantas (Figura 3D). Com a utilização do extrator $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em HOAc, os coeficientes de correlação foram próximos aos valores obtidos pelo extrator $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em H_2O , tanto para a concentração de S total (Figura 3A), quanto para o acúmulo de S na planta (Figura 3B). No entanto, a recuperação de S com o CaCl_2 , apresentou os menores coeficientes de correlação em ambas as variáveis estudadas (Figura 3E e 3F).

As variações nos teores de S obtido com diferentes extratores químicos decorrem de suas composições, que ocasionam uma extração diferencial das várias formas de S, causando maior ou menor sensibilidade do extrator à capacidade tampão de S no solo. Contudo, observou-se que o extrator $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em H_2O foi o que melhor correspondeu a absorção de S pelas plantas de crambe nos dois solos. Resultados semelhantes foram obtidos por Bissani (1985), que encontrou melhores correlações entre o S disponível por esse extrator e o S absorvido por plantas de colza. Esses dados corroboram com as

recomendações de Rein e Sousa (2004), que sugerem o uso desse extrator, como o mais indicado para avaliações da disponibilidade de S em solos de regiões de Cerrado.

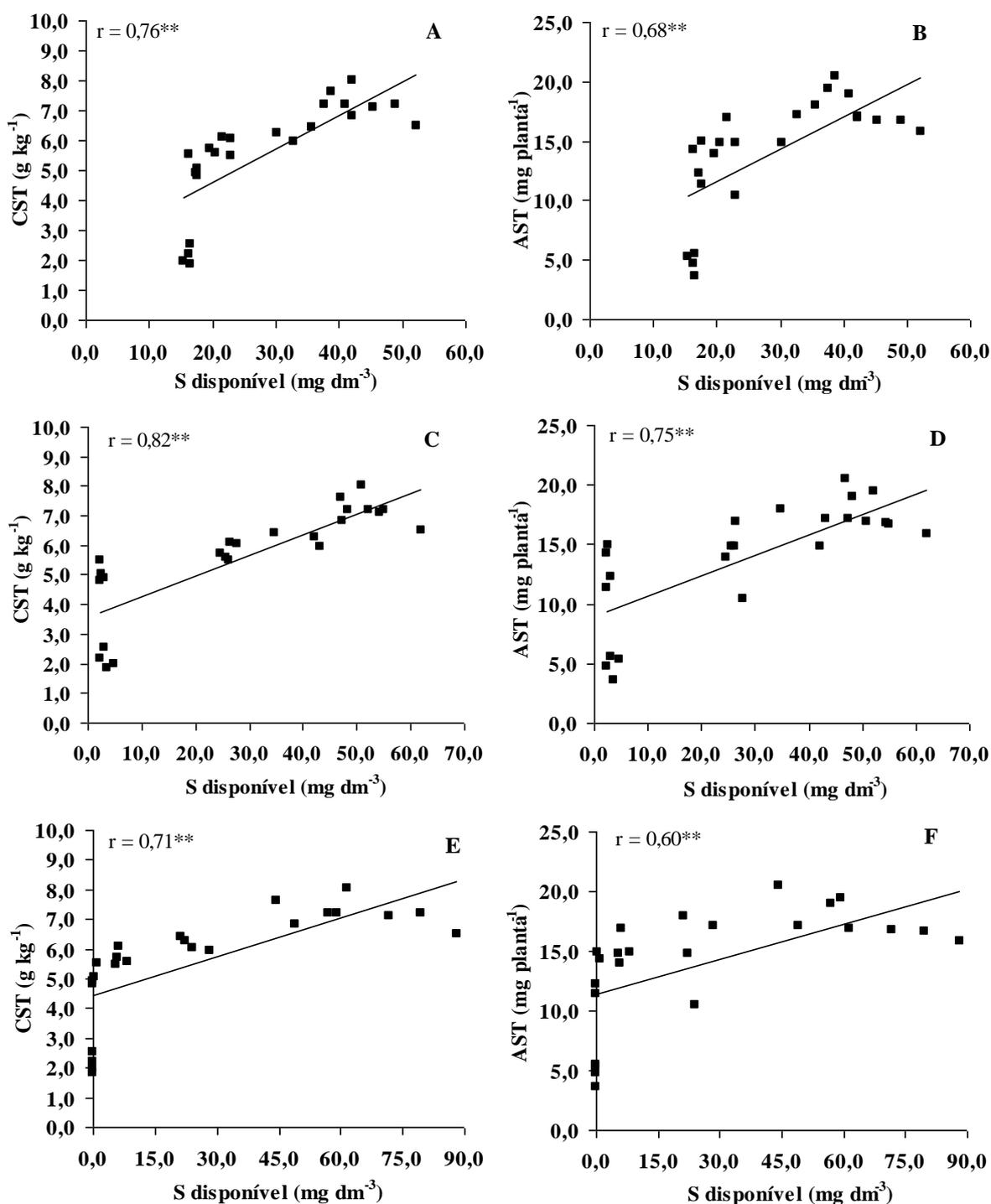


FIGURA 3. Correlação da concentração de S total e do acúmulo de S total em plantas de crambe, com o enxofre disponível extraído com (A e B) Ca(H₂PO₄)₂ em HOAc; (C e D) Ca(H₂PO₄)₂ em H₂O; e (E e F) CaCl₂ em Latossolo Vermelho Distrófico. **significativo a 1% de probabilidade. Dourados, 2009.

2.4 CONCLUSÕES

Os extratores $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 500 mg L⁻¹ de P em HOAc 2 mol L⁻¹ e CaCl_2 10 mmol L⁻¹ recuperam maiores quantidades de S disponível no Latossolo Vermelho Distrófico, no entanto, o CaCl_2 não é eficiente em valores inferiores a 12 mg dm⁻³ de S no solo.

O extrator $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 500 mg L⁻¹ de P em H₂O apresenta o maior coeficiente de correlação com a concentração e o acúmulo de S pelo crambe nos dois solos estudados.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Níveis críticos de enxofre em solos de Cerrado para o crescimento de mudas de eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 19, Curitiba, 1983. **Resumos...** Curitiba: SBCS, 1983. p.164-165

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. **Determinação e uso do fósforo remanescente.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.25, p.27-33, 2000 (Boletim Informativo).

ALVAREZ V., V. H.; DIAS, L. E.; RIBEIRO JUNIOR, E. S.; SOUZA, R. B.; FONSECA, C. A. **Métodos de análises de enxofre em solos e plantas.** Viçosa: UFV. 2001. 131p.

ALVAREZ V., V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. F. Enxofre. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L (Eds.). **Fertilidade do Solo.** Viçosa: SBCS, p.595-635, 2007.

ALVES, M. E. **Atributos mineralógicos e eletroquímicos, adsorção e dessorção de sulfato em solos paulistas.** 2002. 154p. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - USP, Piracicaba.

BARDSLEY, C. E; LANCASTER, J. D. Determination of reserve sulfur and soluble sulfates in soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.24, p.265-268, 1960.

BISSANI, C. A. **Disponibilidade de enxofre para as plantas em solos do Rio Grande do Sul.** 1985. 198p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre.

CASAGRANDE, J. C.; ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A.; BORGES, M. Adsorção de fosfato e sulfato em solos com cargas elétricas variáveis. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.1, p.51-59, 2003.

DIAS, L. E.; ALVAREZ V, V. H.; COSTA, L. M.; NOVAIS, R. F. Dinâmica de algumas formas de enxofre em colunas de solos tratados com diferentes doses de fósforo e gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.2, p.373-380, 1994.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo.** 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

FERNANDES, M. B.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, A. C. Níveis críticos de enxofre em solos de Pernambuco. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.20, n.3, p.93-103, 2007.

FONTES, M. P. F.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BORGES, A. C. Disponibilidade do enxofre em três extratores químicos em Latossolos de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.6, n.2, p.125-130, 1982.

KLIEMANN, H. J.; MALAVOLTA, E. Disponibilidade de enxofre em solos brasileiros: III - Avaliação do enxofre-sulfato disponível por extratores químicos. **Anais da Escola de Agronomia e Veterinária**, Goiânia, v.23, n.1, p.165-186, 1993.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MATULA, J. Use of multinutrient soil tests for sulphur determination. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Madison, v.30, p.1733-1746, 1999.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S. (Coord.) **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: EMBRAPA-SEA, p.189-253, 1991 (Documentos, 3).

REIN, T. A.; SOUSA, D. M. G. Adubação com enxofre. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.227-244.

REISENAUER, H. M. Soil assays for the recognition of sulphur deficiency. In: MCLACHLAN, K. D. (Ed.). **Sulphur in Australian Agriculture**. Sydney: University Press, 1975. p.182-187.

RHEINHEIMER, D. S.; RASCHE, J. W. A.; OSORIO FILHO, B. D.; SILVA, L. S. Resposta à aplicação e recuperação de enxofre em cultivos de casa de vegetação em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.2, p.363-371, 2007.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cultura do crambe em solos com baixa disponibilidade de S apresenta sintomas visuais de deficiência, evidenciando assim, a necessidade da utilização de doses adequadas ao desenvolvimento da cultura. Nas condições em que a pesquisa foi realizada, verifica-se que a aplicação de até 40 mg dm^{-3} de S, favorece o crescimento e a produção de matéria seca da cultura.

Para avaliação da disponibilidade de S, recomenda-se a utilização do extrator $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 500 mg L^{-1} de P em H_2O , por apresentar adequado desempenho operacional em laboratório e por recuperar teores de S do solo que se correlacionam com as quantidades de S absorvidas pelas plantas.

APÊNDICE A

Quadro 1. Resumo da análise de variância utilizada para avaliar a altura de planta, matéria seca da parte aérea e matéria seca das raízes de crambe, o efeito de doses de enxofre em dois Latossolos Vermelho. Dourados, 2009

Fonte de Variação	GL	AP		MSPA		MSR	
		QM	Fc	QM	Fc	QM	Fc
Solos	1	1,347	0,01 ^{NS}	1,926	10,76*	0,257	28,56*
Doses	5	608,713	3,97*	0,703	3,93*	0,038	4,22*
Solos*Doses	5	286,300	1,87 ^{NS}	0,431	2,41 ^{NS}	0,038	4,22*
Resíduo	36	153,182		0,179		0,009	

*: Significativo a 5% pelo teste F ; ^{NS}: Não significativo

Quadro 2. Resumo da análise de variância utilizada para avaliar o teor de S na parte aérea, teor de S nas raízes, acúmulo de S na parte aérea e acúmulo de S nas raízes de crambe, sobre o efeito de doses de enxofre em dois Latossolos Vermelho. Dourados, 2009

Fonte de Variação	GL	TSPA		TSR		ASPA		ASR	
		QM	Fc	QM	Fc	QM	Fc	QM	Fc
Solos	1	1,478	7,14*	0,386	4,20*	6,237	1,75 ^{NS}	1,334	16,89*
Doses	5	18,682	90,25*	2,483	27,00*	172,98	48,63*	0,994	12,58*
Solos*Doses	5	1,033	5,00*	0,066	0,72 ^{NS}	7,811	2,20 ^{NS}	0,130	1,65 ^{NS}
Resíduo	36	0,207		0,092		3,557		0,079	

*: Significativo a 5% pelo teste F ; ^{NS}: Não significativo

Quadro 3. Resumo da análise de variância utilizada para avaliar a eficiência de utilização, absorção e translocação de S em plantas de crambe, sobre o efeito de doses de enxofre em dois Latossolos Vermelho. Dourados, 2009

Fonte de Variação	GL	EFUS		EFAS		EFTS	
		QM	Fc	QM	Fc	QM	Fc
Solos	1	0,299	1,35 ^{NS}	124,804	9,00*	36,053	5,15*
Doses	5	3,919	17,58*	511,339	36,87*	11,445	1,64 ^{NS}
Solos*Doses	5	0,185	0,83 ^{NS}	29,161	2,10 ^{NS}	2,730	0,39 ^{NS}
Resíduo	36	0,222		13,870		7,00	

*: Significativo a 5% pelo teste F ; ^{NS}: Não significativo

APÊNDICE B

Quadro 1. Resumo da análise de variância utilizada para avaliar o S no solo extraído pelos extratores $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em HOAc, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em H_2O e CaCl_2 , sobre o efeito de doses de enxofre em dois Latossolos Vermelho. Dourados, 2009

Fonte de Variação	GL	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em HOAc		$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ em H_2O		CaCl_2	
		QM	Fc	QM	Fc	QM	Fc
Solos	1	4214,14	619,38*	164,547	15,58*	551,492	14,86*
Doses	5	800,546	117,66*	3314,680	313,86*	5003,609	134,84*
Solos*Doses	5	58,0787	8,54*	64,233	6,08*	277,614	7,48*
Resíduo	36	6,8038		10,561		37,108	

*: Significativo a 5% pelo teste F; ^{NS}: Não significativo